

Zeitschrift Kunststofftechnik Journal of Plastics Technology

archivierte, rezensierte Internetzeitschrift des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kunststofftechnik (WAK)
archival, reviewed online Journal of the Scientific Alliance of Polymer Technology
www.kunststofftech.com; www.plasticseng.com

eingereicht/handed in: 20.09.2006
angenommen/accepted: 12.01.2007

**Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Michaeli, Dipl.-Ing. Andreas Hegenbart,
AssDipl.-Ing. Dirk Binkowski, Friederike v. Fragstein, M.Sc.,
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), RWTH Aachen**

Steigerung der Klebfestigkeit von PTFE und PFA durch Plasmabehandlung

Am IKV durchgeführte Untersuchungen zeigen Möglichkeiten zur Verbesserung der Verklebbarkeit von Fluorpolymeren mit Hilfe von Niederdruckplasmen auf. Neben der Haftfestigkeit wurden vor allem Effekte durch den Plasmaprozess auf die chemischen Oberflächeneigenschaften untersucht und bewertet. Für die Versuche wurde gezielt eine kommerziell erhältliche Anlagentechnik eingesetzt, die eine einfache Hochskalierung der Prozesse auf industrielle Maßstäbe ermöglicht.

Improvement of the Bond Strength of PTFE and PFA by Plasma Treatment

Investigations at the IKV show possible solutions to increase adhesion of fluoropolymers by using low pressure plasmas. Besides adhesion properties mainly the effects of the plasma process on the chemical surface properties have been analysed and evaluated. For the trials a commercially available plant technology was used which assures an easy up-scaling of the processes for industrial applications.

Autor/author

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Michaeli,
Dipl.-Ing. Andreas Hegenbart, Dipl.-Ing. Dirk Binkowski,
Friederike v. Fragstein, M.Sc.
RWTH Aachen
Institut für Kunststoffverarbeitung
Pontstraße 49
52062 Aachen

E-Mail-Adresse: fragstein@ikv.rwth-aachen.de
Webseite: www.ikv-aachen.de
Tel.: +49(0)241 80 28 361
Fax: +49(0) 241 / 80 22 316

Steigerung der Klebfestigkeit von PTFE und PFA durch Plasmabehandlung

W. Michaeli, A. Hegenbart, D. Binkowski, F. v. Fragstein,
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen

Am IKV durchgeführte Untersuchungen zeigen Möglichkeiten zur Verbesserung der Verklebbarkeit von Fluorpolymeren mit Hilfe von Niederdruckplasmen auf. Neben der Haftfestigkeit wurden vor allem Effekte durch den Plasmaprozess auf die chemischen Oberflächeneigenschaften untersucht und bewertet. Für die Versuche wurde gezielt eine kommerziell erhältliche Anlagentechnik eingesetzt, die eine einfache Hochskalierung der Prozesse auf industrielle Maßstäbe ermöglicht.

Investigations at the IKV show possible solutions to increase adhesion of fluoropolymers by using low pressure plasmas. Besides adhesion properties mainly the effects of the plasma process on the chemical surface properties have been analysed and evaluated. For the trials a commercially available plant technology was used which assures an easy up-scaling of the processes for industrial applications.

1 EINLEITUNG

Plasmen stellen ein sehr flexibles, umweltfreundliches und hochwertiges Werkzeug für die Oberflächentechnik dar und können entweder als Atmosphärendruck- oder als Niederdruckprozesse in fast alle Fertigungsprozesse integriert werden. Beide Varianten bieten Vor- und Nachteile, die je nach Anwendung bewertet werden müssen, um die wirtschaftlich optimale Lösung zu erreichen. In der Kunststoffindustrie wird die Plasmatechnologie u.a. eingesetzt, um Oberflächen nachzuvernetzen, zu reinigen, chemisch zu modifizieren und zu beschichten. Dadurch werden Kunststoffoberflächen besser lackier-, verkleb- oder bedruckbar und z. B. ihre Kratzfestigkeit und ihre Medienbeständigkeit können deutlich verbessert werden [1].

PTFE (Polytetrafluorethylen) und PFA (Perfluoralkoxy-Copolymer), ein Fluorthermoplast für die Spritzgießverarbeitung, gehören zur Gruppe der Fluorkunststoffe, die vor allem für ihre große Beständigkeit gegenüber dem Angriff von Chemikalien bekannt sind. Bedingt durch die Abschirmung der Kohlenstoffkette durch die Fluoratome zeigen die Oberflächen dieser Materialien ein stark antiadhäsives Verhalten. Um das Adhäsionsverhalten solcher Fluorpolymere im Hinblick auf eine Verklebung zu verbessern, kommen unterschiedliche Vorbe-

handlungsverfahren zum Einsatz. In der Industrie werden häufig nasschemische Verfahren, bspw. die Behandlung der Oberfläche mit Natrium in flüssigem Ammoniak oder Naphthylnatrium in Tetrahydrofuran, verwendet [2]. Dabei wird die Oberfläche in ein graphitähnliches Material umgewandelt, das leichter verklebbar ist. Alternativ kann eine Haftungsverbesserung durch den Beschuss mit Ionen, Atomen, Elektronen oder Röntgenstrahlung oder mit Hilfe einer Plasmabehandlung erzielt werden [3].

Im Folgenden werden Ergebnisse zur Plasmabehandlung der genannten Fluorkunststoffe in einem Niederdruckplasmaprozess vorgestellt. Das Ziel ist es, eine Verbesserung der Verklebbarkeit dieser Materialien zu erreichen sowie die dafür verantwortlichen Mechanismen auf der Oberfläche zu ermitteln.

2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Versuchsreihen zur Plasmabehandlung wurden auf einer Niederfrequenz-Plasmaanlage „PICO“ der Firma Diener Electronic GmbH & Co. KG, Nagold, durchgeführt. Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau der Anlage. Diese wurde für den Laborbetrieb mit einer Massefluss- und Absolutdruckregelung (MKS Instruments, Wilmington, MA, USA) sowie einem zweistufigen Vakuumpumpstand, bestehend aus einer Drehschieber- und einer Wälzkolbenpumpe (Leybold Vacuum GmbH, Köln), aufgerüstet. Die verwendeten Versuchsparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

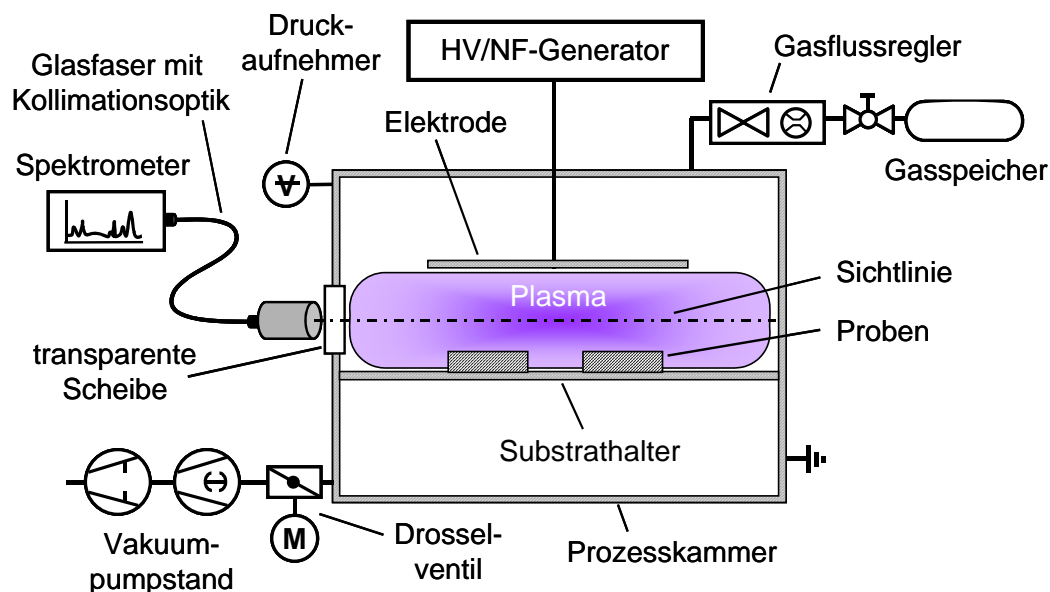


Bild 1: Schematische Ansicht der verwendeten Plasmaanlage

Behandlungszeit	1, 4, 7, 10, 25, 45 min
Prozessdruck	15 Pa
Massefluss H₂	4 sccm
Leistungsdichte	2 W/cm ²

Tabelle 1: Versuchsparmeter

Um die Haftungseigenschaften der plasmabehandelten Fluorpolymerplatten zu untersuchen, wurden diese mit Metallvorrichtungen der Abmessung 3 x 3 cm² verklebt, im Zugversuch mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min auseinander gezogen und die Versagenskraft ermittelt. Die Art des Zugversuchs lehnt sich an den Stirnabzugstest nach DIN ISO 4624 an, der zur Bewertung von Schichthaftungen eingesetzt wird. Die Metallvorrichtungen wurden vor der Verklebung gesandstrahlt und mit Isopropanol gereinigt. Eine praktische Anwendung von PTFE bzw. PFA ist die Nutzung als Innenliner-Material in CFK-Spalttöpfen für Pumpen zur Förderung besonders aggressiver Medien. Je nach Anwendung ist hierbei eine hauffeste Verbindung von Innenliner und CFK-Bauteil wichtig. Als Klebstoff für die hier durchgeführten Versuche wurde daher ein warmaushärtendes Epoxidharzsystem verwendet, wie es auch als Faserharz zum Einsatz kommt (s. Tabelle 2). Die Proben wurden jeweils vier Stunden bei 80 °C und anschließend sechs bis acht Stunden bei 140 - 160 °C ausgehärtet.

Bestandteil		Gewichtsanteil
Harz	LY 556	100
Härter	HY 917	90
Beschleuniger	DY 070	0,5 - 1

Tabelle 2: Mischungsverhältnis des verwendeten Epoxidharzsystems

Für eine chemische Analyse der Proben wurden Untersuchungen mittels Elektronenspektroskopie zur chemischen Analyse (ESCA bzw. XPS) durchgeführt. Damit können die Elementverteilung sowie funktionelle Gruppen an der Oberfläche von Proben bestimmt werden. Eingesetzt wurde ein Gerät des Typs M-Probe der Firma Surface Science, Mountain View, CA, USA. Die Untersuchungen zur Topographie wurden mit einem DSM 960 A Rasterelektronenmikroskop (Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen) durchgeführt.

Die optische Emission des Plasmas ermöglicht Rückschlüsse auf die dort vorhandenen chemischen Spezies [4]. Über diese wiederum können ggf. Aussagen über stattfindende Plasma-Oberfläche-Interaktionen getroffen werden. Für die Optische Emissionsspektroskopie (OES) wurde das System PLASUS Emi-Con, des PLASUS Ingenieurbüro, Königsbrunn, eingesetzt. Das Spektrometer erfasst simultan einen Spektralbereich von ca. 200 nm bis 850 nm, die spektrale Auflösung liegt bei ca. 1,5 nm (FWHM). Die Spektren werden mit dem Spektrometer erfasst und können mit Hilfe der dazugehörigen, Windows-basierten Software aufgezeichnet sowie für die Analyse, Überwachung und Regelung von Plasmaprozessen eingesetzt werden.

Untersucht wurde der Effekt der Plasmabehandlung an einem modifizierten Polytetrafluorethylen (TFM™ 1635 PTFE) und einem Fluorthermoplast (Polyalkoxy-Copolymer, PFA 6502N) der Firma Dyneon GmbH & Co. KG, Kelsterbach. Beide Materialien enthalten zur chemischen Modifikation Perfluoropropylvinylether (PPVE, $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-O-CF=CF}_2$). Der Anteil im TFM™ ist allerdings mit weniger als 1 % so gering, dass dieses Material nach ISO 12086 noch als Homopolymer angesehen werden kann [5]. Beide Materialien lagen in Form aufgerollter Folien (Dicke: 1 mm) vor. Die Substrate wurden vor den Versuchen ca. zwei Stunden bei 210 °C und konstant gehaltenem Verformungszustand gelagert, um ebene Proben zu erhalten und Eigenspannungen abzubauen. Anschließend wurden sie für die einzelnen Analysemethoden geeignet zugeschnitten und mit Isopropanol gereinigt.

Als Prozessgas für die Versuche zur Plasmabehandlung kam Wasserstoff (H_2 , Reinheit: 5.0, Linde AG, Wiesbaden) zum Einsatz. Zwischen den Versuchen wurde die Prozesskammer mit Hilfe eines Sauerstoff-Plasmas (O_2 , Reinheit: 4.5, Linde AG, Wiesbaden) gereinigt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Haftfestigkeit

Die getesteten Verbünde mit unbehandelten PTFE-Substraten zeigten keinerlei Haftfestigkeit, die der unbehandelten PFA-Substrate lag im Mittel bei 0,6 MPa (s. Bild 2). Die Haftfestigkeit verbessert sich bei einigen Proben bereits nach einer Minute Behandlungsdauer, beim PFA im Mittel bereits deutlich, aber erst nach vier Minuten im Wasserstoffplasma wird bei allen getesteten Verbänden eine Verbesserung der Haftfestigkeit erreicht. Allerdings streuen die Messwerte vor allem für das PFA deutlich. Gründe dafür werden vor allem in Unzulänglichkeiten bei der Probenpräparation, sowie bei längeren Prozesszeiten durch „Überbehandlungseffekte“ gesehen. Beim PTFE wird durch eine längere Behandlung im Wasserstoffplasma die Haftfestigkeit des Verbundes weiter gesteigert und erreicht unter Berücksichtigung der Streuung ab sieben Minuten einen konstanten Maximalwert von ca. 5 MPa.

Auch für das PFA wird der Maximalwert mit über 8 MPa nach 7 Minuten Plasmabehandlung erreicht. Allerdings sinkt bei einer längeren Behandlung die Haftfestigkeit zunächst wieder deutlich ab, um sich bei längeren Prozesszeiten langsam wieder dem Maximalwert zu nähern.

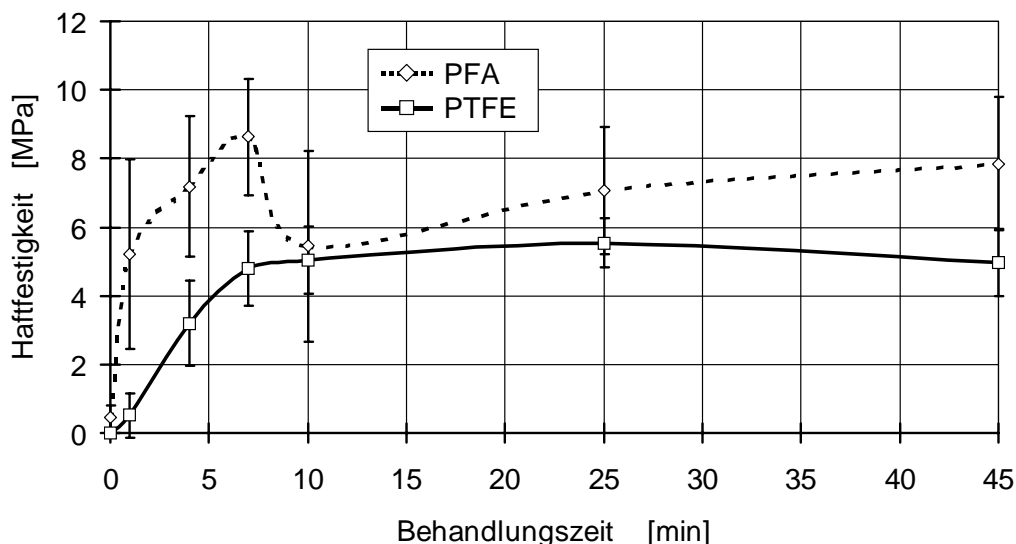


Bild 2: Haftfestigkeit des Verbundes (Stahl-Epoxidharzsystem-PTFE bzw. PFA-Epoxidharzsystem-Stahl)

Bei allen Proben wird ein kohäsives Versagen im oberflächennahen Bereich des Kunststoffes beobachtet. Die durch die Plasmabehandlung modifizierte und dunkel gefärbte Oberfläche des Kunststoffes löst sich durch den Zugversuch vom Substrat und nach dem Bruch liegt wieder eine reine PTFE- bzw. PFA-Oberfläche vor.

3.2 Oberflächenchemie

Die Oberflächenchemie der betrachteten Fluorpolymere ändert sich durch die Plasmabehandlung deutlich, wie für das PTFE in Bild 3 in Abhängigkeit von der Behandlungszeit dargestellt. Durch die Plasmabehandlung sinkt der Fluoranteil an der Oberfläche zunächst stark, der Kohlenstoffanteil hingegen steigt stark an. Außerdem findet an der Oberfläche eine Anlagerung von Metallen sowie Sauerstoff statt. Bei den metallischen Elementen handelt es sich um abgesputtertes Elektrodenmaterial. Dies konnte durch stichprobenartige Versuche mit anderen Elektrodenmaterialien bestätigt werden. Bei Einsatz einer Aluminium-, Titan- oder Molybdänelektrode konnte jeweils das entsprechende Metall auf den PTFE-Substraten nachgewiesen werden. Die zusätzliche Sauerstoffanlagerung kann über die Reaktion der Oberfläche mit der Luft nach Ende des Prozesses erklärt werden. Durch das Plasma werden in der Oberfläche Radikale

erzeugt, die auch nach Ende des eigentlichen Prozesses eine gewisse Zeit (mehrere Sekunden) weiter existieren und mit dem Sauerstoff der Luft reagieren können [6]. Im Gegensatz zum Kohlenstoff-, Fluor- und Metallgehalt der Oberfläche variiert der Anteil von Sauerstoff bei den betrachteten Prozesszeiten nur sehr geringfügig.

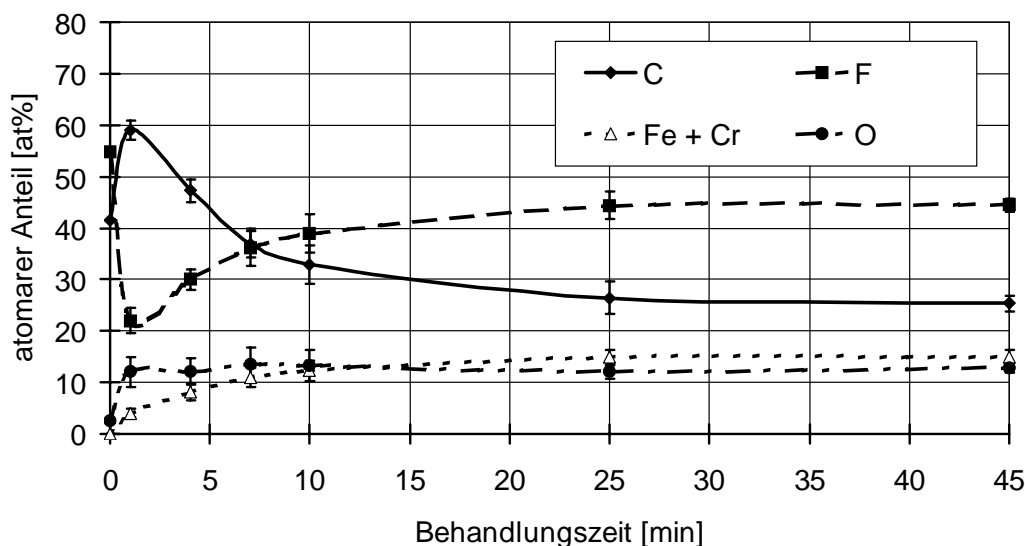


Bild 3: Chemische Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Behandlungszeit (PTFE)

Der Kohlenstoffanteil in der Oberfläche ist für beide Materialien nach einer Minute Plasmabehandlung maximal. Zu längeren Prozesszeiten hin nimmt er wieder ab und erreicht bei langen Behandlungszeiten einen konstanten Wert. Der Fluorgehalt verhält sich genau entgegengesetzt. Er durchläuft bei einer Minute ein Minimum und steigt danach wieder an, um bei langen Prozesszeiten ebenfalls einen konstanten Wert zu erreichen. Das gleiche Sättigungsverhalten zeigt auch der Metallgehalt.

In Bild 4 sind noch einmal für beide Materialien der Verlauf des Fluor-, Metall- und Sauerstoffgehalts im Verhältnis zum Kohlenstoffgehalt aufgetragen. Das F/C-Verhältnis sinkt zwar anfangs, jedoch steigt es nach einer Prozesszeit von 1 min wieder an, für das PTFE sogar über den Ausgangswert von unbehandeltem PTFE. Dieser Anstieg geht mit einem Anstieg des Metall/C-Verhältnisses einher, wobei auch hier das Endniveau für PFA deutlich niedriger liegt als für PTFE. Demgegenüber ist sowohl der qualitative als auch der quantitative Verlauf des O/C-Verhältnisses für beide Materialien nahezu identisch.

Detailliertere Informationen über die Vorgänge an der Oberfläche liefern hochaufgelöste ESCA-Spektren des C 1s-Orbitals. Das C 1s-Spektrum der unbehandelten PTFE-Proben, Bild 5 zeigt zum überwiegenden Teil CF_2 -Bindungen. Ein Teil der Kohlenstoffatome liegt aber auch in C-C- oder C-H-Bindungen vor (für PFA liegen die Anteile bei ca. 15,6 % C-C/C-H und ca. 84,4 % CF_2). Mit

dem verwendeten Analyseverfahren kann zwischen den Bindungsstrukturen C-C und C-H nicht unterschieden werden. Das Auftreten von C-H-Bindungen widerspricht zwar der theoretischen Zusammensetzung von PTFE, jedoch weisen auch zusätzlich aufgenommene FTIR-Spektren CH_x -Verbindungen auf. Es ist anzunehmen, dass es sich hierbei um angelagerte Kohlenwasserstoffe bzw. um Reinigungsrückstände (Isopropanol) auf den Proben handelt.

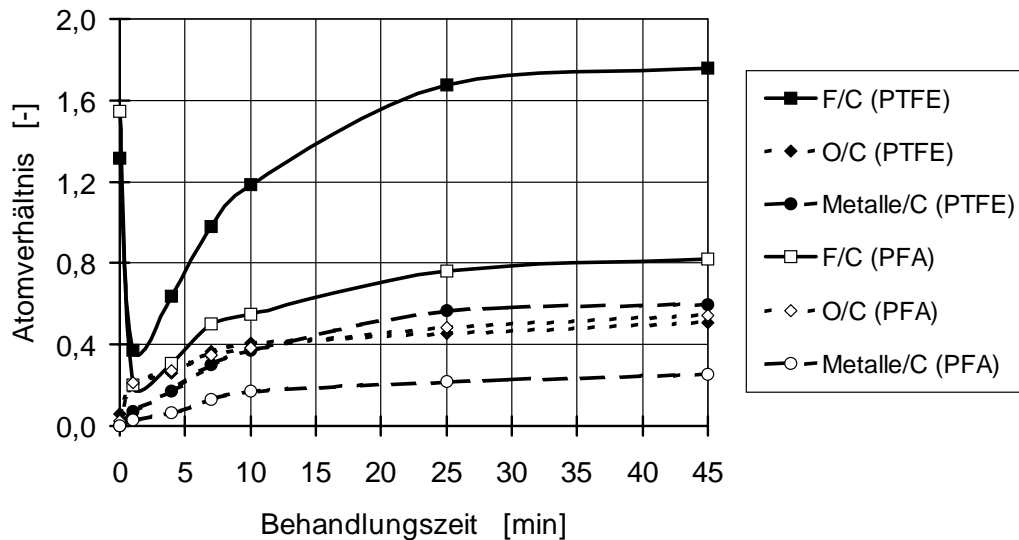


Bild 4: Entwicklung der F/C-, O/C- und Metall/C-Verhältnisse (PTFE, PFA)

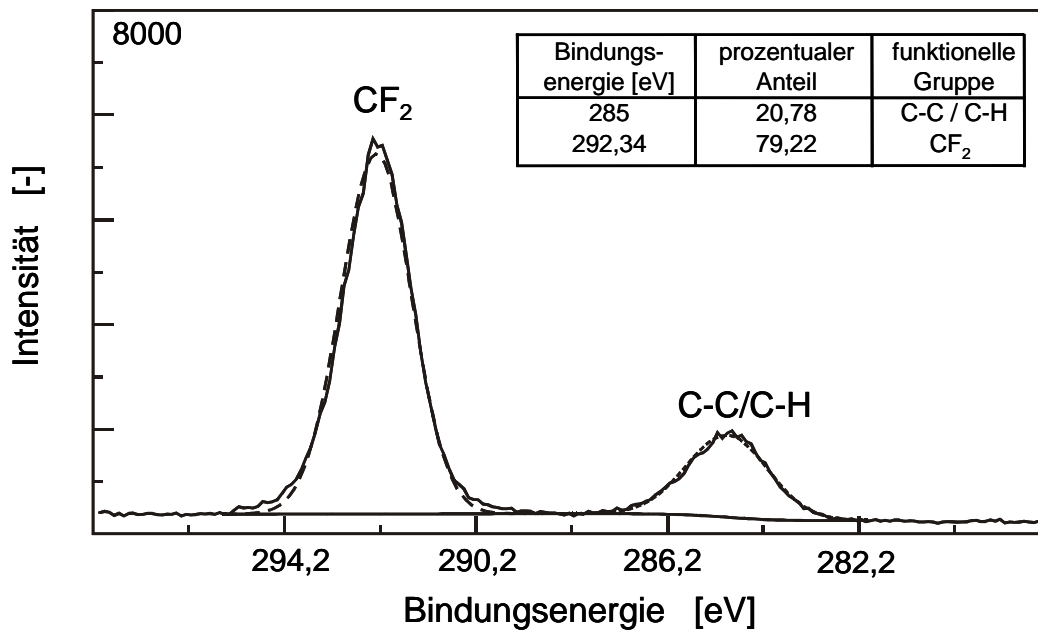


Bild 5: C 1s-Spektrum der unbehandelten PTFE-Oberfläche

Wie in Bild 6 zu sehen, hat sich nach einer Minute im Wasserstoffplasma die Bindungsumgebung des Kohlenstoffs in der Oberfläche grundlegend geändert. CF_2 -Bindungen sind nur noch zu einem verschwindend kleinen Anteil vorhanden, die meisten Kohlenstoffatome sind als C-C gebunden (durch zusätzlich aufgenommene FTIR-Spektren bestätigt). Dies deutet auf eine Vernetzung der Oberfläche hin, wie bereits von Wu für die Plasmabehandlung von PTFE berichtet [7]. Abweichend von den meisten in der Literatur beschriebenen Prozessen wird bei den hier durchgeführten Versuchen keine Entfluorierung der Oberflächen durch den Plasmaprozess beobachtet. Für das PTFE ist sogar das Gegenteil der Fall, denn das F/C-Verhältnis übersteigt bei langen Behandlungszeiten sogar den Anfangswert. Diese Veränderung wird auf die Anwesenheit der Metallionen im Prozess zurückgeführt. Das durch die Zerstörung der CF_2 -Bindungen aus der Oberfläche gelöste Fluor lagert sich als Metallfluorid wieder an die Oberfläche an. Alle Beobachtungen sowie die qualitative Verteilung der Bindungsstrukturen gelten auch für das PFA.

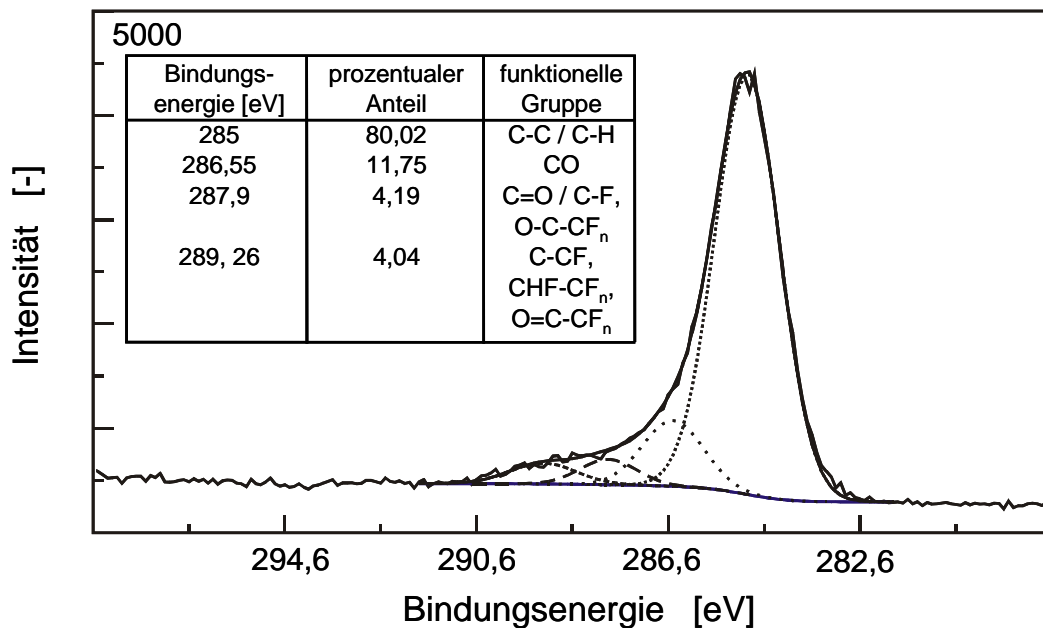


Bild 6: C 1s-Spektrum der PTFE-Oberfläche nach 4 min Plasmabehandlung

3.3 Topographie

In Bild 7 sind REM-Aufnahmen der PTFE-Oberfläche mit fortschreitender Behandlungsdauer zu sehen.

Ab einer Behandlungsdauer von vier Minuten werden typische Strukturveränderungen durch eine Plasmabehandlung sichtbar, die Oberfläche wird im Wesentlichen auf Grund von Ätzzvorgängen deutlich rauer.

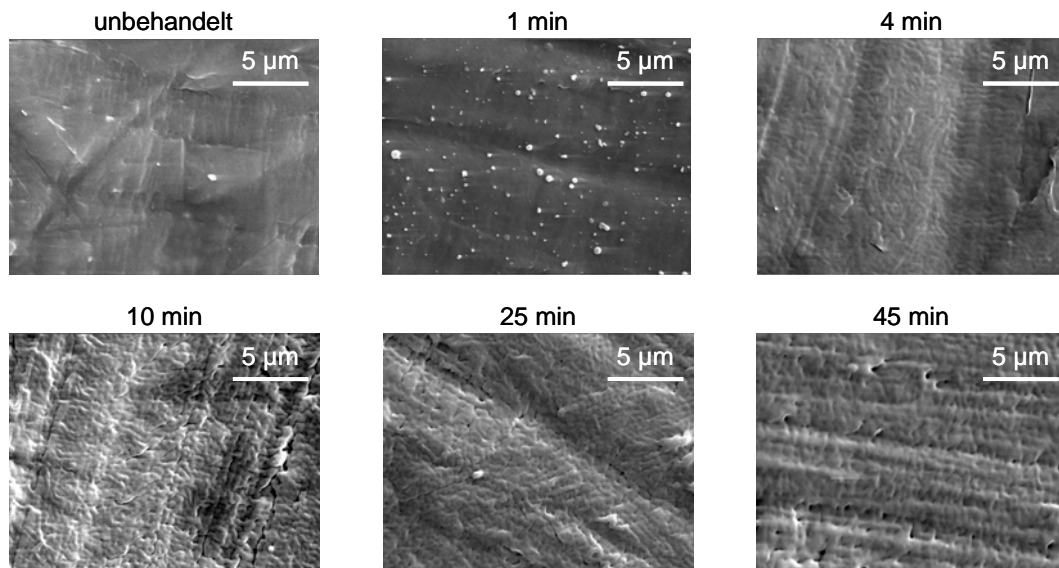


Bild 7: Topographie der PTFE-Oberflächen (REM)

3.4 Optische Emission des Plasmas

In Bild 8 ist das Emissionsspektrum eines Wasserstoffplasmas in der leeren Prozesskammer nach einer Minute Prozesszeit dem eines Wasserstoffplasmas in Gegenwart von PTFE nach der gleichen Zeit gegenübergestellt. Neben den drei stärksten Linien des atomaren Wasserstoffs (H_{α} , H_{β} , H_{γ}), lassen sich als eindeutige Emission von atomarem Fluor die Linien bei 703,7 und 712,8 nm identifizieren [8]. Das weitere Emissionsspektrum ist im Wesentlichen durch die Emission von CO - und CO^+ - oder CO_2^+ -Spezies geprägt [9]. Die stärkste unter ihnen liegt bei 519,4 nm, weitere bei 297 nm, 288,6 nm, 282,7 nm, ein nicht klar zu trennendes Kontinuum zwischen 240 nm und 250 nm, 230,4 nm und 219,7 nm. Im Wellenlängenbereich unterhalb von 300 nm liegen in den gleichen Wellenlängenbereichen auch die Emissionen von CF_2 , deren Vorkommen ebenfalls vermutet wird [9]. Auf Grund der geringen Wellenlängenauflösung des verwendeten Spektrometers können diese Emissionen allerdings nicht von denen der verschiedenen CO -Spezies getrennt und somit nicht nachgewiesen werden. Die Identität der CO -Emissionen ist dagegen durch den nahezu vollständigen Nachweis aller relevanten Emissionen (auch bei höheren Wellenlängen) eindeutig. Das Auftreten der zusätzlichen Linien bei Anwesenheit von PTFE im Plasma zeigt, dass es zu deutlichen Wechselwirkungen zwischen dem Plasma und der PTFE-Oberfläche kommt. Durch die Anwesenheit des atomaren Fluors werden die ESCA-Analysen bestätigt, aus der eine Zerstörung der CF_2 -Verbindungen an der Oberfläche geschlussfolgert wurde. Die gleichen Beobachtungen können auch für PFA gemacht werden, die Emissionsspektren beider Material sind quasi identisch.

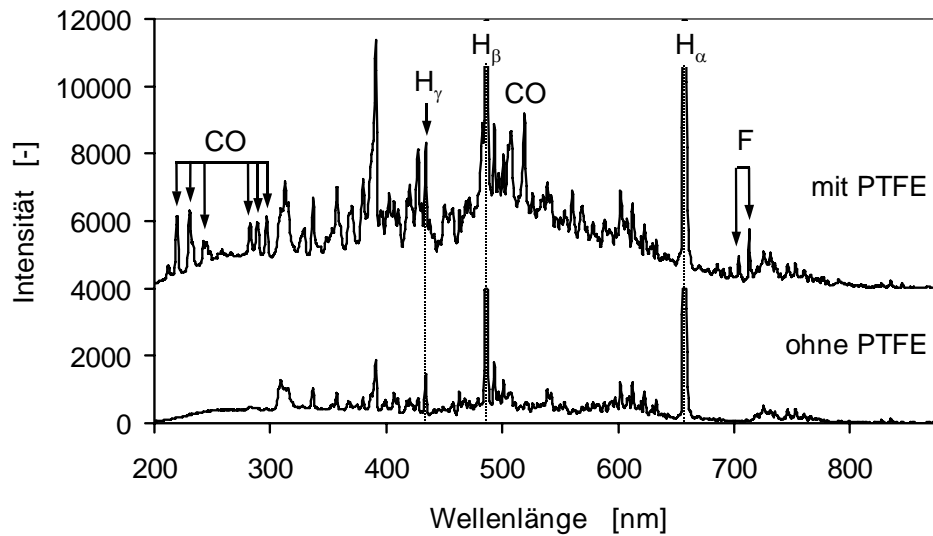


Bild 8: Topographie der PTFE-Oberflächen (REM)

Die starken Emissionen von CO- und CO-varianten Linien kommen wahrscheinlich durch einen Angriff freier Oberflächen in der Prozesskammer durch ggf. vorhandene Fluorverbindungen sowie das nachgewiesene atomare Fluor zustande. Vor allem durch einen Angriff des großen Quarzglasfensters an den Frontseite der Anlage sowie des kleinen Quarzglasfensters für den OES-Zugang an der Rückseite können CO-Emissionen verursacht werden [10].

4 FAZIT

Durch die Behandlung der Fluorpolymere in einem Wasserstoff-Plasmaprozess kann mit Hilfe der verwendeten Niederdruck-Plasmaanlage eine deutliche Verbesserung der Verklebbarkeit erzielt werden. Diese kommt im Wesentlichen durch eine Zerstörung der schwachen und antiadhäsiv wirkenden CF_2 -Verbindungen an der Oberfläche zustande. Das dabei frei werdende Fluor wird bei der hier eingesetzten Anlagentechnik größtenteils in Form von Metallfluoriden wieder an die Oberfläche angelagert. Durch den Nachweis von atomarem Fluor im Plasma durch die OES können diese Plasma-Oberfläche-Interaktionen bestätigt werden. Die Topographie der Oberfläche verändert sich ebenfalls mit zunehmender Behandlungsdauer. Ein Einfluss auf die Verklebbarkeit konnte jedoch auf Grund der rein qualitativen Ergebnisse nicht nachgewiesen werden. Der für das PFA beobachtete Abfall der Haftfestigkeit bei einer Behandlungsdauer von über 7 Minuten kann durch Änderungen der chemischen Zusammensetzung nicht erklärt werden. Ggf. spielen hier Oberflächeneffekte auf Grund einer Überbehandlung eine Rolle, wie sie bei längeren Versuchszeiten vor allem für das PFA aber auch vereinzelt für das PTFE beo-

bachtet werden konnten. Dabei kommt es, wahrscheinlich verursacht durch thermische Verformungen der Bauteile, zu einem Abplatzen der im Prozess entstandenen oberflächennahen Metallfluoridschicht der Substrate.

Basierend auf der Anlagentechnologie, wie sie für die hier vorgestellten Untersuchungen eingesetzt wurde, sind am Markt Anlagen mit einem Kammer-
volumen von über 12 m³ verfügbar. Dadurch ist die Möglichkeit zur Hochskalierung der untersuchten Prozesse auf industrielle Maßstäbe gegeben.

5 LITERATUR

- [1] Schmachtenberg, E.; Hegenbart, A. Plasmaprozesse: Kunststoffoberflächen funktionalisieren
Kunststoffe 96 (2006) 1, S. 50-54
- [2] Brewis, D. M.; Dahm R. H. Adhesion to Fluoropolymers
In: Humphreys S. (Hrsg.): Rapra Review Reports 16 (2006) 3, Report 183
- [3] Garbassi, F.; Morra, M.; Occhiello, E. Polymer Surfaces – From Physics to Technology
London: John Wiley & Sons, 1998
- [4] Schmachtenberg, E.; Hegenbart, A. Überwachung von Plasmaprozessen durch OES
Vakuum in Forschung und Praxis 17 (2005) 6, S. 318-323
- [5] N.N. Dyneon™ TFM™ PTFE – Improved Performance and design flexibility
Fa. Dyneon GmbH & Co. KG, Kelsterbach, 2006
- [6] Inagaki, N. Plasma Surface Modification and Plasma Polymerization
Lancaster: Technomic, 1996
- [7] Wu, S. Polymer Interface and Adhesion
New York: Marcel Dekker, 1982
- [8] Harshbarger, W. R.; Porter, R. A.; Miller, T. A.; Norton, P. A Study of the Optical Emission from an rf Plasma during Semiconductor Etching
Appl. Spectr., 31, No. 3 (1977), S. 201-207
- [9] D'Agostino, R. PE-CVD of Polymer Films: Mechanisms, Chemistry and Diagnostics
In: D'Agostino, R.; Favia, P.; Fracassi, F (Hrsg.): Plasma Processing of Polymers. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997
- [10] Pearse, R. W. B.; Gaydon, A. G. The Identification of Molecular Spectra
3. Aufl. London: Chapman & Hall, 1963

Stichworte:

deutsch:

Plasma, Vorbehandlung, Haftfestigkeit, Fluorpolymere, Oberflächentechnik

englisch:

Plasma, Treatment, Adhesion, Fluoropolymer, Surface Technology

Kontakt:

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Michaeli,
Dipl.-Ing. Andreas Hegenbart,
Dipl.-Ing. Dirk Binkowski,
Friederike v. Fragstein, M.Sc.

Herausgeber: Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gottfried W. Ehrenstein,
Prof. Dr. Tim Osswald

Erscheinungsdatum: März/April 2007

Herausgeber/Editor:

Europa/Europe
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. W. Ehrenstein, verantwortlich
Lehrstuhl für Kunststofftechnik
Universität Erlangen-Nürnberg
Am Weichselgarten 9
91058 Erlangen
Deutschland
Phone: +49/(0)9131/85 - 29703
Fax.: +49/(0)9131/85 - 29709
E-Mail-Adresse: ehrenstein@ikt.uni-erlangen.de

Amerika/The Americas
Prof. Dr. Tim A. Osswald, responsible
Polymer Engineering Center, Director
University of Wisconsin-Madison
1513 University Avenue
Madison, WI 53706
USA
Phone: +1/608 263 9538
Fax.: +1/608 265 2316
E-Mail-Adresse: osswald@engr.wisc.edu

Verlag/Publisher:

Carl-Hanser-Verlag
Jürgen Harth
Ltg. Online-Services & E-Commerce,
Fachbuchanzeigen und Elektronische Lizenzen
Kolbergerstrasse 22
81679 Muenchen
Tel.: 089/99 830 - 300
Fax: 089/99 830 - 156
E-mail: harth@hanser.de

Beirat/Editorial Board:

Professoren des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kunststofftechnik/
Professors of the Scientific Alliance of Polymer Technology